

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

# 博 士 論 文 概 要

## 論 文 題 目

地方部の課題解決に向けた  
分散型エネルギーシステムの  
効率的な構築と社会的受容性に関する研究

Efficient deployment of distributed energy systems  
considering social acceptance  
toward solving the issues in rural areas

申 請 者

渡邊	敏康
Toshiyasu	WATANABE

総合機械工学専攻 環境・新エネルギー研究

2019 年 12 月

我が国においては、社会経済活動の多様化が加速化する中で、少子高齢化社会の到来、社会インフラの老朽化、大規模自然災害への対応、都市部への人口集中や過疎地域の拡大、そしてエネルギー需給構造の変革等の多くの社会的課題が顕在化してきている。中でも東日本大震災を契機としたエネルギー需給構造の抱える課題を踏まえて、新たなエネルギー政策の有り方に向けた検討が進められている。低炭素化社会の実現やエネルギー供給構造の強靱化の推進の観点から、再生可能エネルギーや分散型エネルギーの担う役割は増してきている。また、二次エネルギーとしての電気や熱に加え、エネルギー効率が高く、利用段階で温室効果ガスの排出のない水素についても中心的な役割を担うことが期待されている。

電気のエネルギーマネジメント関連技術については、HEMS（Home Energy Management System）の基盤技術や家庭器機の通信規格の一つである ECHONET Lite の普及により、実用化への道筋が付けられてきている。他方、熱マネジメントに向けた克服すべき課題は多い。電気・熱の再生可能エネルギーや蓄エネルギーを統合的に管理する ICT 関連の技術が未成熟なことが背景の一つとして挙げられる。例えば、電気と熱を相互融通する際の通信インタフェース技術が確立されていないため、電気と熱の需給情報をやり取りするには、都度インタフェースやシステムの構築を行う必要が有るため高コスト構造になってしまう。都市部のような大規模需要家や郊外の工場等が存在しない限り投資回収が困難になるため、地方部での電気と熱の相互融通による事業を推進するための技術的なハードルが高い。加えて、自治体での公共施設をはじめとするエネルギー需要の把握に掛かる課題が地方部におけるエネルギーマネジメント関連技術の普及に向けた障壁となっている。背景として自治体でのエネルギー需要の把握に対する取り組みが限定的であること、並びにエネルギー需要の把握に際しては、自治体の組織内部ではなく外部組織に依存している課題が挙げられる。

他方、再生可能エネルギーや ICT 関連技術を地方部に導入する際には、対象となる地域の地理的な側面や経済的な側面に加え、地域内の一般家庭や企業、行政等の連携の在り方について社会的受容性の側面を十分に考慮することが求められている。新たな社会インフラを導入していく際の科学的なアプローチは、国際的にも重要なテーマとなっている。国際連合「国連持続可能な開発サミット」（2015 年 9 月）にてグローバルな社会課題に対し、17 の持続可能な開発目標及び 169 のターゲットを定めた SDGs（Sustainable Development Goals）が採択された。これを受け、国際連合の専門機関の一つである ITU（国際電気通信連合）や国際規格を定める ISO（国際標準化機構）において、情報通信の標準規格や工業製品の規格を定める従前の国際標準化の活動に加えて、社会課題の解決に向けた効果測定の手法に関する国際標準化の取り組みが活発になっている。国際標準化の策定に際しても、対象となる関連技術の社会的受容性を考慮しつつ、該当技術の社会課題の解決策との関係性を示していくことが求められている。

我が国においても、2016年に第5期科学技術基本計画が閣議決定されている。本計画では、社会課題の解決に向けたあるべき姿として、ICTを最大限に活用し、サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）とを融合させた取り組みによって、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会（Society5.0）」を未来社会として定めている。国内外の取り巻く社会課題の解決に向けた取り組みに向けて、基幹インフラとなるエネルギー需給のマネジメント技術の構築、ICTの活用、並びに当該技術に対する社会的受容性について、一体的に取り組むことが示されている。

以上の背景を踏まえ、本研究では地方部における再生可能エネルギー・省エネルギー技術に対する自治体の導入障壁を下げることを目指して、該当施設のエネルギー需要を自治体の職員においても簡易に試算できる手法を提案する。当該手法によって電気及び熱需要を可視化できることから、地方部における再生可能エネルギー・省エネルギー技術の導入に向けた効果検証を行う。その際、地方部の「小さな拠点」としての連携機能や情報発信機能、地域内外からのモビリティのハブ機能としての役割が期待されている「道の駅」をモデルケースとして、当該施設へ分散型エネルギーシステムを設置した際の電気と熱の相互融通によるCO<sub>2</sub>削減方策について検討する。また、「道の駅」に隣接し、熱需要の多い介護施設が併設されているモデルケースを特定して、地方部における電気・熱・水素の面的利用を想定したエネルギーチェーンについて検討する。これらの技術的な側面からの効果検証と合わせて、社会的受容性の観点から自治体における再生可能エネルギー・省エネルギー技術導入の検討プロセスを明らかにしつつ、地方部における社会実装に向けた方策について検討する。

本研究は、再生可能エネルギー・省エネルギー技術の導入に際する課題に対して、電気及び熱需要の可視化手法を提案することで、地方部における分散型エネルギーシステムの効率的な構築、並びに将来的な電気・熱・水素のエネルギーチェーンの構築に寄与することを目的とする。

本論文は5章から構成されている。第1章では、本研究の背景、従来研究及び本研究の目的について説明している。本研究の背景として、地方部の定義を設定した上で、超高齢化問題や過疎化をはじめとする社会的な課題解決に向けた取り組みの必要性について説明している。自治体の再生可能エネルギー・省エネルギー技術に関する意識調査を引用しつつ、自治体におけるエネルギー需要の把握に対する取り組みが限定的であること、並びにエネルギー需要の把握が外部組織に依存している課題が内在していることを説明している。また、分散型エネルギーシステムの導入に際する熱マネジメントの必要性についても説明している。加えて、スマートシティ・コミュニティの国際標準化の動向について説明しつつ、エネルギー需給をはじめとする情報の収集、蓄積及び活用に際して、情報モデル構築の必要性について詳述している。そして、冷凍空調サイクルに着目した省エネルギー化の先行研究、建物用途別のエネルギー需要に関する先行研究、並びに社会的受

容性の先行研究について説明した上で、本研究の目的を論述している。

第2章では、地方部での分散型エネルギーシステムの導入に向けて、エネルギー需要を簡易に把握することが可能な推算方法を提案している。推算方法の構築に向けて、「道の駅」の模擬店舗を構築することで、年間の実験を通じた主要機器別のエネルギー需要構成を明らかにしている。「道の駅」のエネルギーの需要構成を踏まえて、分散型エネルギーシステムを導入した際に、廃熱の利用を通じたCO<sub>2</sub>削減方策を示している。電気及び熱を相互融通させることで、ファンコイル空調、デシカント空調、過冷却装置、並びに食器洗浄機への排熱利用によるCO<sub>2</sub>削減効果を論述している。中でも冷蔵冷凍ショーケースに対する過冷却効果が期待できることを特定した上で、過冷却効果と外気温度との相関を示しつつ、模擬店舗における環境下では外気温が16℃以上の条件において過冷却効果が期待できることを確認している。

第3章では、地方部における「道の駅」に着目しつつ、熱需要の多い介護施設と併設した「小さな拠点」のモデルケースを特定し、当該施設におけるエネルギー需要特性について検討している。第2章で提案したエネルギー需要の推算方法を用いることで、介護施設のエネルギー需要構成を明らかにできることを確認している。その結果を「道の駅」及び介護施設の負荷条件を情報モデルとして整理し、地方部での電気・熱マネジメントのシステム構築に向けた基本要件を明らかにしている。また、地方部における水素活用を想定したエネルギーチェーンについて山形県小国町をモデルケースとして、本研究にて提案したエネルギー需要の推算方法を用いて水素エネルギーの需給評価が可能であることを論述している。また、水素エネルギーの導入に際する費用を試算した上で、費用便益比(B/C)分析により、便益(Benefit)の構成要素の整理、並びに先進技術の導入に際する費用(Cost)の構成を明らかにしている。

第4章では、地方部におけるスマートシティ・コミュニティ関連技術の導入に際し、社会的受容性の醸成による対象技術の導入に向けた検討プロセスを論述している。地方部における低炭素化社会モデルを対象ケースとし、社会的受容性と技術的受容性の関係を説明している。また、地方部でのスマートシティ・コミュニティ関連技術の導入に際して、自治体、民間企業、住民、並びに研究者をはじめとするアクター間の協働の場を通じた社会的受容性及び技術的受容性の形成に向けた検討プロセスについても明らかにしている。

第5章では本研究の総括として、本研究にて提案したエネルギー需要の推算方法を契機とした地方部における再生可能エネルギー・省エネルギー技術の導入に向けた展望、並びに社会実装に向けた今後の課題について論述している。最後に、我が国の社会課題の解決に向けた将来展望として、ICTを通じてエネルギー分野に留まらず社会システムにおける分野間の連携による社会イノベーション、並びに本研究の横展開の可能性について言及する。

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 渡邊 敏康 印

(2019 年 12 月 現在)

種 類 別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行 年月	連名者 (申請者含む)
○論文 (査読付)	Energy conservation effect based on the change of supercooling in water flow rate exchanging heat in condenser of refrigerated cabinet(s) using PCM	25th IIR International Congress of Refrigeration, International Institute of Refrigeration(IIR), Doi: 10.18462/iir.icr.2019.0978, p. 4575-4581	2019 年 8 月	Toshiyasu Watanabe Tatsutoshi Nakamura Akira Yasukochi Sangchul Bae Masafumi Katsuta
○論文 (査読付)	Integrated Energy Management System Assuming Exhaust Heat Utilization to Supercooling by PCM in Supermarket, achieving Sustainable Cities and Communities	Transactions of the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, doi: 10.11322/tjsrae.18-41AC_OA	2018 年 12 月	Toshiyasu Watanabe Tatsutoshi Nakamura Sangchul Bae Masafumi Katsuta
○論文 (査読付)	Integrated Energy Management System Assuming Exhaust Heat Utilization to Supercooling by PCM in Supermarket	9th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning, ACRA2018, June 10-13, ACRA2-18-E322, 1-4	2018 年 11 月	Toshiyasu Watanabe Tatsutoshi Nakamura Sangchul Bae Masafumi Katsuta
○論文 (査読付)	Energy Management System utilizing Exhaust Heat Recovery on Distributed Generation in Supermarket and Restaurant	24th IIR International Congress of Refrigeration, International Institute of Refrigeration(IIR), p. 5074 - 5079	2015 年 8 月	Toshiyasu Watanabe Tatsuya Shikano Sangchul Bae Masafumi Katsuta
○総説	ITU-T SG20 (IoT 及びスマートシティ)	ITU ジャーナル Vol.49 No.7, p. 41-44	2019 年 7 月	渡邊 敏康 倉澤 秀人
○総説	ITU-T SG20 (IoT 及びスマートシティ)	ITU ジャーナル Vol.49 No.5, p. 39-42	2019 年 5 月	渡邊 敏康 倉澤 秀人 丸田 桂一
総説	ITU-T SG20 (IoT, smart cities & communities) 第 4 回会合	TTC レポート Vol.34 No.1, p. 58-62	2019 年 4 月	渡邊 敏康 倉澤 秀人 丸田 桂一
講演	Integrated Energy Management System Assuming Exhaust Heat Utilization to Supercooling by PCM in Supermarket	9th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning (ACRA2018)	2018 年 6 月	Toshiyasu Watanabe Tatsutoshi Nakamura Sangchul Bae Masafumi Katsuta
講演	Standardization Trend of IoT Area	buildingSMART International Standard Summit	2017 年 10 月	渡邊 敏康
講演	低炭素社会アプローチと社会イノベーション：長野県飯田市のケース	環境経済・政策学会 2017 年大会	2017 年 9 月	渡邊 敏康 升本 潔 平沼 光 中村 洋

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行 年月	連名者 (申請者含む)
講演	長野県飯田市における都市 環境イノベーションの形成 と普及－制度イノベーショ ンの視点から－	環境経済・政策学会 2016 年大会	2016 年 9 月	竹川 章博 渡邊 敏康 松岡 俊二
講演	IoT に関する研究開発・ 標準化動向について	スマート IoT 推進 フォーラム 技術・標準化分科会	2016 年 6 月	渡邊 敏康
講演	IoT のアーキテクチャ、 プラットフォームに関する 考察	総務省 情報通信審議会 情報通信技術分科会	2016 年 3 月	渡邊 敏康
講演	Energy Management System utilizing Exhaust Heat Recovery on Distributed Generation in Supermarket and Restaurant	24th IIR International Congress of Refrigeration, International Institute of Refrigeration(IIR)	2015 年 8 月	Toshiyasu Watanabe Tatsuya Shikano Sangchul Bae Masafumi Katsuta
講演	自治体におけるスマートグ リッド通信インタフェース 導入に向けた手引き(仮称) について	総務省 ICT スマートグリッド シンポジウム 2015	2015 年 3 月	渡邊 敏康
○著書	社会イノベーションと地域 の持続性－場の形成と社会 的受容性の醸成 第 1 章 低炭素社会への模索・飯田 モデル	有斐閣	2018 年 12 月	渡邊 敏康
○著書	社会イノベーションと地域 の持続性－場の形成と社会 的受容性の醸成 第 10 章 社会イノベーションと技術 イノベーション	有斐閣	2018 年 12 月	渡邊 敏康 勝田 正文 師岡 慎一
その他 (総説)	社会インフラを支える センサーネットワーク －IoT/AI/ビッグデータ時代 における社会システムにつ いて考える－	日本工業出版	2018 年 11 月	渡邊 敏康
その他 (総説)	社会インフラを支える センサーネットワーク －安心できる社会インフラ の仕組みを考える－	日本工業出版	2015 年 6 月	渡邊 敏康
その他 (講演)	MaaS 時代の次世代モビリ ティデザインのあり方につ いて考える	リニア・モビリティ 革命と都市・ 地域フォーラム	2019 年 5 月	渡邊 敏康

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行 年月	連名者 (申請者含む)
その他 (講演)	ITU-Tにおけるスマートシ ティ・コミュニティ分野の 動向について	スマートコミュニティ・ アライアンス (JSCA) 国際標準化 WG	2018 年 11 月	渡邊 敏康
その他 (講演)	飯田市の社会イノベーショ ンと今後の展望	第 32 回ニッセイ財団 環境問題助成研究 ワークショップ	2018 年 2 月	渡邊 敏康 升本 潔 中村 洋
その他 (講演)	ITU-Tにおけるスマートシ ティ・コミュニティ分野の 動向について	スマートコミュニティ・ アライアンス (JSCA) 国際標準化 WG	2017 年 12 月	渡邊 敏康 倉澤 秀人
その他 (講演)	早稲田大学・ふくしま広野 未来創造リサーチセンター 開所式・記念シンポジウム パネルディスカッション	早稲田大学環境総合研 究センター・ふくしま 広野未来創造リサーチ センター	2017 年 5 月	渡邊 敏康
その他 (講演)	低炭素から脱炭素へ 飯田市における地域ぐるみ で新たな挑戦に向けて	飯田市地域ぐるみ環境 ISO 研究会、 長野県飯田市	2017 年 2 月	黒川 哲志 渡邊 敏康
その他 (講演)	総務省のスマートグリッド 通信インタフェース導入事 業の成果について	スマートコミュニティ・ アライアンス (JSCA) 通信インタフェース SWG	2016 年 11 月	渡邊 敏康